

文章编号:1005-0523(2012)03-0026-05

桥梁温度跨度对CRTS II型板式无砟轨道无缝线路的影响

陈小平^{1,2}

(1. 福建工程学院土木工程系, 福建 福州 350108; 2. 西南交通大学高速铁路线路工程教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

摘要:为探索桥上CRTS II型板式无砟轨道的桥梁温度跨度的合理限值,运用线板桥墩一体化模型计算了不同温度跨度下钢轨制动力和伸缩力,基于弹性点支承梁理论分析了桥梁温度跨度对钢轨强度的影响,运用屈曲有限元分析了桥梁温度跨度对无缝线路稳定性的影响,根据钢轨与轨道板的相对位移分析了桥梁温度跨度对扣件耐久性的影响。结果表明,为保证无缝线路强度、稳定性及扣件耐久性,桥梁温度跨度的合理限值为482 m。

关键词:温度跨度;无缝线路;桥梁;CRTS II型板式无砟轨道

中图分类号:U213.2

文献标志码:A

作为一种新型无砟轨道结构,桥上CRTS II型板式无砟轨道采用纵向连续铺设的轨道板和底座板,在温度力、制动力等荷载共同作用下底座板与桥梁通过剪力齿槽和滑动层相互作用^[1-3]。桥上CRTS II型板式无砟轨道的主要优势之一是,相比其他轨道结构,该轨道可以适应较大的桥梁温度跨度,而不需要设置钢轨伸缩调节器,比如京津城际铁路北京跨五环特大桥主跨80 m+128 m+80 m的连续梁上铺设了CRTS II型板式无砟轨道,该桥温度跨度(桥梁两相邻固定支座间的距离)已达240 m,无缝线路未设钢轨伸缩调节器^[4]。具有这一优势的主要原因是底座板贯通全桥铺设可以降低桥上无缝线路中的钢轨附加力^[5-8]。由于我国地域辽阔,地形地质条件复杂,加之某些时候线路需要跨越大江大河及高速公路,在客运专线建设中,设计者希望CRTS II型板式无砟轨道能适应更大的桥梁温度跨度。

与路基上无缝线路相比,桥上CRTS II型板式无砟轨道无缝线路中钢轨在列车制动和桥梁伸缩作用下产生附加纵向力,分别称之为制动力和伸缩力^[9]。因制动力和伸缩力的附加作用,钢轨的强度和稳定性受到不利影响,从而可能成为限制桥梁温度跨度的因素。对于桥上CRTS II型板式无砟轨道系统,无缝线路容许的桥梁温度跨度存在一个合理限值问题,目前关于这一问题的研究较缺乏^[5-10]。

本文拟运用线板桥墩一体化模型计算不同温度跨度的钢轨制动力和伸缩力,分析桥梁温度跨度对钢轨强度、稳定性及扣件耐久性的影响,以得到桥上CRTS II型板式无砟轨道桥梁温度跨度的合理限值,为其结构设计提供参考。

1 轨道与桥梁纵向作用力

桥上CRTS II型板式无砟轨道无缝线路中的钢轨承受了附加的制动力和温度力,二者随着线路铺设温度、扣件阻力、桥梁结构等因素变化。作为一个复杂大系统,桥上CRTS II型板式无砟轨道存在4个层间的3种纵向相互作用。这4个纵向作用层为钢轨、混凝土拉带(由砂浆联结轨道板和底座板形成)、桥梁和墩台基础。3个纵向相互作用首先是钢轨与混凝土拉带通过扣件纵向阻力相互作用,其次是桥梁与混凝土拉带通过滑动层和剪力齿槽相互作用,最后是桥梁与地基间通过墩台纵向相互作用。考虑桥上CRTS II型板

收稿日期:2012-03-20

基金项目:福建省自然科学基金项目(2011J05120);铁道部科技研究开发计划项目(2010G006-B);西南交通大学高速铁路线路工程教育部重点实验室开发基金项目(2011-HRE-04)

作者简介:陈小平(1978—),男,副教授,博士,从事轨道结构研究。

式无砟轨道无缝线路纵向作用机理,建立线—板—桥—墩空间一体化模型计算轨道与桥梁纵向作用力,模型细节及求解方法同文献[11],该模型和求解方法已在我国桥上CRTSⅡ型板式无砟轨道结构设计的纵向力计算中得到实际应用。

计算桥型以我国客运专线某大跨连续梁为基本对象,该桥结构型式如图1所示,中间一联75 m+125 m+75 m大跨连续梁,最大温度跨度为232 m。针对不同的桥梁温度跨度纵向力计算,以图1所示桥型为基础,增加连续梁中间大跨的数量,即桥梁温度跨度以232 m为基础,按125 m逐级递增。桥梁固定支座处墩台顶纵向水平刚度见表1,表中固定支座从左至右依次编号,连续梁活动支座不编号。

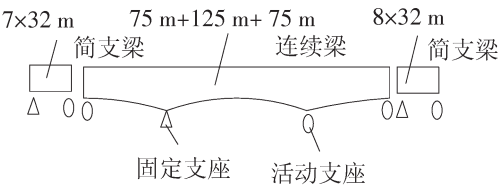


图1 桥跨及支座布置
Fig.1 Span and pier of bridge

表1 固定支座处墩台顶纵向水平刚度
Tab.1 Longitudinal horizontal stiffness of pier top with fixed support

固定支座编号	1	2	3	4	5	6	7	8
纵向刚度/kN·cm ⁻¹	4 418.3	574.6	569.3	484.5	572.9	563.1	569.3	8 410.8
固定支座编号	9	10	11	12	13	14	15	16
纵向刚度/kN·cm ⁻¹	2 140.3	596.9	488.7	564.7	563.3	571.5	562.8	1 188.8

当地最高轨温60.2℃,最低轨温-14.8℃,设计锁定轨温范围23~33℃,最大降温幅度为47.8℃,最大升温幅度为37.2℃。纵向力计算桥梁温度变化幅度按20℃考虑,底座板降温幅度按40℃考虑。底座板配筋面积120 cm²,折减后弹性模量3937 MPa。列车制动力为16 kN·m⁻¹,作用范围300 m。滑动层摩擦系数为0.2。扣件阻力有载38 kN·m⁻¹,无载24 kN·m⁻¹。滑动层和扣件阻力特性及其他参数取值同文献[11]。

2 对钢轨强度的影响

桥上CRTSⅡ型板式无砟轨道无缝线路钢轨垂向受到列车动轮载作用,纵向除了无缝线路固定区温度力外,还有因桥梁伸缩产生的附加纵向力。钢轨最大应力可表示成

$$\sigma = \frac{M}{w} + \frac{N_f + N_e}{A}$$
(1)

式中: M 为动轮载产生的弯矩; N_f 和 N_e 分别为钢轨固定区温度力和伸缩力; w 为钢轨截面模量; A 为钢轨截面积。

轮载动弯矩计算采用图2所示的弹性点支承梁模型,动轮载取300 kN,扣件节点刚度取25 kN·mm⁻¹[12]。钢轨为CHN60轨,断面积77.45 cm²,垂向惯性矩和截面模量分别为3 217 cm⁴和396 cm³,计算所得钢轨最大动弯矩为66 673 N·m。根据钢轨最大降温幅度,可得固定区的钢轨温度力为917.38 kN。

表2为各温度跨度下钢轨受到的最大制动力和伸缩力,均为拉力。图3和图4为几种代表性温度跨度的制动力和伸缩力纵向分布。本文各图所涉及的纵向坐标均以左桥台为原点,指向右桥台为正。

由表2和图3可知:①钢轨伸缩力随着桥梁温度跨度增加而线性增大,增大梯度为0.9~1.0 kN·m⁻¹。其原因是超过232 m温度跨度部分的桥梁与底座板相对位移及底座板与钢轨相对位移均超过了层间阻力屈服点位移,滑动层摩擦阻力和扣件阻力保持为最大值,随着作用长度增加而增大。图4表明最大制动力出现在制动起终点位置附近。②无缝线路钢轨材质为U71Mn,其屈服强度为457 MPa,考虑1.3的安全系

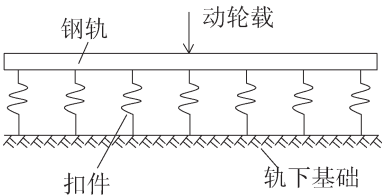


图2 弹性点支承梁模型
Fig.2 Beam model of rail on discrete elastic supports

数,则钢轨容许应力为351.5 MPa^[14]。当桥梁温度跨度为607 m时,钢轨最大应力为349.07 MPa,接近容许应力351.5 MPa,表明无缝线路钢轨强度所能适应的桥上CRTS II型板式无砟轨道的最大桥梁温度跨度为607 m。

表2 不同温度跨度下的钢轨最大应力

Tab.2 Maximal stress of rail at different temperature span

参数	温度跨度/m						
	232	357	482	607	732	857	982
伸缩力/kN	126.06	239.37	361.14	482.19	593.96	696.72	791.93
钢轨应力/MPa	303.09	317.72	333.44	349.07	363.57	376.77	389.06

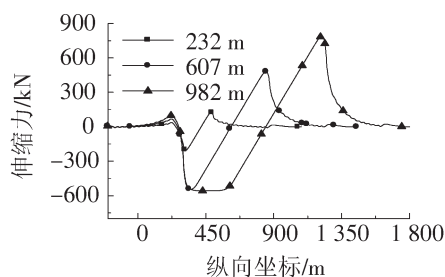


图3 钢轨伸缩力纵向分布

Fig.3 Longitudinal distribution of rail elastic force

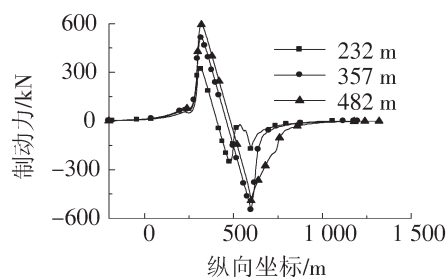


图4 钢轨制动力纵向分布

Fig.4 Longitudinal distribution of rail braking force

3 对稳定性的影响

无砟轨道上无缝线路稳定性的本质是一个受扣件横向阻力约束的压杆失稳问题,无法采用有砟轨道统一公式或不等波长公式,桥上CRTS II型板式无砟轨道无缝线路钢轨稳定性采用图5所示模型进行分析。本文研究不考虑下部基础失稳问题,钢轨不同于有砟轨道被轨枕联结成轨道框架,因此模型只取一根钢轨为研究对象。模型求解采用有限单元法,钢轨划分为梁单元,扣件等效成非线性弹簧单元,采用Ansys软件的屈曲有限元法对模型求解。

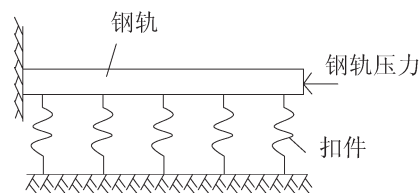


图5 钢轨稳定性计算模型

Fig.5 Stability calculation model of rail

计算中钢轨初始弯曲波长取为7.2 m。扣件横向阻力考虑成分段线性,相对位移小于2 mm时阻力随相对位移增加而线性增大,当相对位移超过2 mm后阻力保持为24 kN·m⁻¹不变。扣件横向阻力取值只考虑横向摩擦阻力,不考虑轨距挡块或挡板的止推作用,因为无砟轨道无缝线路钢轨如果克服了扣件横向摩擦阻力约束之后靠轨距挡块或挡板约束,容易引起线路碎弯,对轨道几何状态产生不利影响。利用图5所示模型,由屈曲有限元分析可得钢轨容许的最大纵向压力为2 190.2 kN(相当于容许升温幅度为114.03 ℃),扣除固定区钢轨温度压力714.5 kN,桥上容许附加纵向力为1 475.7 kN。

表3为各温度跨度对应的钢轨最大制动力。取表2和表3中的制动力和温度力之和作为某一温度跨度无缝线路稳定性计算的附加纵向力。

表3 钢轨最大制动力

Tab.3 Maximal braking force of rail

温度跨度/m	232	357	482	607	732	857	982
制动力/kN	327.34	512.99	593.22	607.95	609.03	609.44	609.82

由表2和表3可知,桥梁最大温度跨度为982 m时,制动力和温度力共同作用的钢轨附加纵向力为1 401.7 kN,小于容许附加纵向力1 475.7 kN,表明无缝线路钢轨稳定性一般不会成为限制桥上CRTSⅡ型板式无砟轨道桥梁温度跨度选择的因素。

由表3还可看出,钢轨最大制动力值随温度跨度非线性增大,当桥梁温度跨度超高482 m后,最大制动力增长变缓,原因是桥梁温度跨度超过482 m后可以保证300 m长的制动力全部作用在连续梁上,并且距相邻简支梁有较大距离,相邻简支梁对制动力的分担作用很小。

4 对扣件耐久性的影响

扣件是无砟轨道的主要部件之一,担负着调整轨道状态、绝缘、提供弹性、固定钢轨等作用。为了给轨道提供必要的弹性以减缓轮轨相互作用,无砟轨道扣件系统均在轨下设置橡胶垫板。橡胶垫板在使用过程中老化和磨损影响整个扣件系统的耐久性,其中磨损是由于在扣压力作用下,钢轨和下部基础相对位移过大所致,为了减缓橡胶垫板磨损,提高扣件系统耐久性,本文提出钢轨与下部基础之间相对位移不宜超过2 mm,并以此为控制条件,研究桥梁温度跨度对扣件耐久性的影响。

线板桥墩一体化模型除了可以求得轨道与桥梁纵向相互作用力之外,还可同时求得轨道和桥梁各部分的纵向位移,进而可得各部件之间的相对位移。图6和图7分别是桥梁制动和伸缩作用下几种代表性温度跨度钢轨与下部基础的纵向相对位移。表4为温度跨度对应的相对位移最大值。

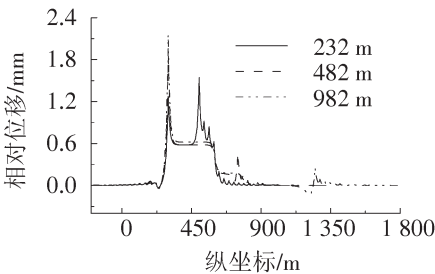


图6 制动力作用下相对位移
Fig.6 Relative displacement between rail and substructure under braking force

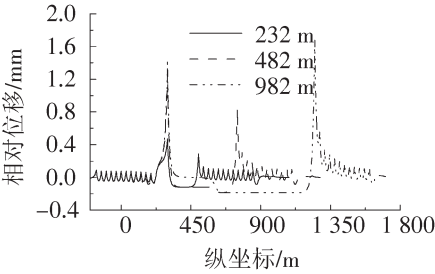


图7 伸缩力作用下相对位移
Fig.7 Relative displacement between rail and substructure under elasticity force

表4 钢轨与下部基础相对位移最大值

Tab.4 Maximal relative displacement between rail and substructure

参数	温度跨度/m						
	232	357	482	607	732	857	982
制动相对位移/mm	1.54	1.76	1.97	2.11	2.13	2.14	2.15
伸缩相对位移/mm	0.47	0.91	1.26	1.39	1.42	1.51	1.69

从表4、图6和图7可看出:①随着桥梁温度跨度增大,制动力作用下相对位移呈非线性增加,当温度跨度超过482 m后,相对位移增加缓慢,并逐渐趋于稳定,变化规律类似制动力。伸缩力作用下相对位移随桥梁温度跨度增大而增加。制动力作用下的相对位移最大值出现在列车制动起点,伸缩力作用下相对位移最大值出现在连续梁固定支座处或最大温度跨度对应的连续梁与简支梁接缝处。②同一温度跨度制动力作用下的相对位移大于伸缩力作用下,当温度跨度为482 m时制动作用下的最大相对位移为1.97 mm,接近本文所提相对位移限值2 mm,表明为保证扣件橡胶垫板的耐久性,桥梁温度跨度宜采用482 m作为限值。

5 结论

1) 桥上CRTSⅡ型板式无砟轨道无缝线路钢轨伸缩力随着桥梁温度跨度增加而线性增大,增大梯度为

$0.9 \sim 1.0 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ 。钢轨最大制动力值随桥梁温度跨度非线性增大,当桥梁温度跨度超过 482 m 后,最大制动力趋于稳定。

2) 随着桥梁温度跨度增大,桥上 CRTS II 型板式无砟轨道在制动力作用下钢轨与下部基础相对位移非线性增加,当温度跨度超过 482 m 后,相对位移几乎不增加。伸缩力作用下相对位移随桥梁温度跨度增大而不断增加。

3) 对于桥上 CRTS II 型板式无砟轨道,无缝线路钢轨强度所能适应的最大桥梁温度跨度为 607 m,桥梁温度跨度达到 982 m 时无缝线路钢轨稳定性能满足要求,以钢轨与下部基础之间相对位移不宜超过 2 mm 作为控制条件则桥梁温度跨度不宜超过 482 m。综合桥梁温度跨度对钢轨强度、稳定性及扣件耐久性的影响,建议我国客运专线桥上 CRTS II 型板式无砟轨道无缝线路桥梁温度跨度不宜超过 482 m。

参考文献:

- [1] 王庆波,姜子清,司道林. 桥上纵连板式无砟轨道相关技术问题分析[J]. 铁道工程学报,2010(5):9-13.
- [2] 程志强. CRTS II 型板式无砟轨道在客专上的研究应用[J]. 铁道建筑技术,2011(7):120-123.
- [3] 李中华. CRTS I 型和 CRTS II 型板式无砟轨道结构特点分析[J]. 华东交通大学学报,2010,27(1):22-28.
- [4] 铁道科学研究院. 京津城际铁路 CRTS II 型板式无砟轨道设计原理与方法总结[R]. 北京:铁道科学研究院,2007.
- [5] 徐庆元,张旭久. 高速铁路博格纵连板桥上无砟轨道纵向力学特性[J]. 中南大学学报:自然科学版,2009,40(2):526-532.
- [6] 姜子清. 高速铁路桥上 CRTS II 型板式无砟轨道纵向力分析[D]. 北京:中国铁道科学研究院,2009.
- [7] 徐锡江. 大跨桥上纵连板式轨道纵向力计算研究[D]. 成都:西南交通大学,2007.
- [8] 陈小平,王平. 客运专线桥上纵连板式无砟轨道制动附加力影响因素分析[J]. 铁道建筑,2008(9):87-90.
- [9] 李秋义,孙立. 桥墩温差荷载引起的桥上无缝线路钢轨附加力[J]. 中国铁道科学,2007,28(4):50-54.
- [10] 林红松,刘学毅,杨荣山. 大跨桥上纵连板式轨道受压稳定性[J]. 西南交通大学学报,2008,43(5):673-678.
- [11] 陈小平. 底座板伸缩刚度对大跨度连续梁桥上 CRTS II 型板式无砟轨道纵向力的影响. 福建工程学院学报,2011,9(1):1-6.
- [12] 杨艳丽,陈秀方. 我国客运专线无砟轨道设计荷载取值探讨[J]. 铁道建筑技术,2008(5):38-41.

Effects of Bridge Expansion Length on Continuous Welded Rail of CRTS II Slab Ballastless Track

Chen Xiaoping^{1,2}

(1. Department of Civil Engineering, Fujian University of Technology, Fuzhou 350108, China; 2. MOE Key Laboratory of High-speed Railway Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: To investigate the reasonable limit value of bridge expansion length about CRTS II slab ballastless track, longitudinal forces of rail caused by train braking or bridge expansion are calculated by using rail-slab-beam-pier integrated model. Based on the theory of continuous beam on discrete elastic supports, effect of bridge expansion length on stress of rail is analyzed. Rail stability is analyzed by finite element buckling method. Effect of bridge expansion length on clip durability is also analyzed according to relative displacement between rail and substructure. The results show that the reasonable limit value of bridge expansion length is 482 m for the sake of rail strength, stability and clip durability.

Key words: expansion length; continuous welded rail; bridge; CRTS II slab ballastless track